

Índices nutricionais de N e produtividade de milho em diferentes níveis de manejo e de adubação nitrogenada

Lisandro Rambo⁽¹⁾, Paulo Regis Ferreira da Silva⁽²⁾, Mércio Luiz Strieder⁽³⁾, Adriano Alves da Silva⁽²⁾,
Luís Sangoi⁽⁴⁾ e Vladirene Macedo Vieira⁽³⁾

⁽¹⁾Syngenta Seeds Ltda., Caixa Postal 585, CEP 38400-974 Uberlândia, MG. E-mail: lisandro.rambo@syngenta.com ⁽²⁾Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Faculdade de Agronomia, Departamento de Plantas de Lavoura. Caixa Postal 15.100, CEP 90001-970 Porto Alegre, RS. E-mail: paulo.silva@ufrgs.br ⁽³⁾Embrapa Trigo, Caixa Postal 451, CEP 99001-970 Passo Fundo, RS. E-mail: strieder@cnpt.embrapa.br, vvieira@cnpt.embrapa.br ⁽⁴⁾Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias. Avenida Luiz de Camões, nº 2.090, CEP 88520-000 Lages, SC. E-mail: a21s@cav.udesc.br

Resumo – O objetivo deste trabalho foi avaliar a relação entre índices nutricionais de N e a produtividade de grãos de milho, em dois níveis de manejo, sob diferentes doses de adubação nitrogenada. Avaliaram-se os índices nutricionais: teor relativo de clorofila na folha (TRC), índice de suficiência (IS), teores de N na folha e na planta, e quantidades acumuladas de N na folha e na planta. Os índices foram determinados em diferentes estádios de desenvolvimento vegetativo e durante o espigamento. A relação dos índices com a produtividade foi determinada em campo, com doses variáveis de adubação nitrogenada, durante dois anos, sob dois níveis de manejo: médio, não irrigado e com doses de N entre 0 e 150 kg ha⁻¹; e alto, irrigado e com doses de N entre 0 e 300 ou entre 0 e 240 kg ha⁻¹. A relação dos teores de N mineral com o teor de N total na folha foi avaliada em casa de vegetação. Os índices nutricionais apresentaram desempenho variável na predição da produtividade do milho e foram influenciados pelo estágio de desenvolvimento das plantas e pelo nível de manejo. Os índices TRC e IS estiveram mais fortemente associados à produtividade. O desempenho dos índices é melhor sob alto nível de manejo da cultura.

Termos para indexação: *Zea mays*, clorofilômetro, eficiência de uso do N, indicadores de planta, níveis de manejo.

Nitrogen nutrition index and corn yield at different management and nitrogen fertilization levels

Abstract – The objective of this study was to evaluate the relationship between N nutrition indices and corn grain yield in two management levels, under different rates of nitrogen fertilization. The nutrition indices relative leaf chlorophyll content (RCC), sufficiency index (SI), leaf and plant N content, and accumulated N in leaf and plant were evaluated. Indices were determined in different vegetative development stages and during flowering. The relationship between indices and crop yield was determined in field conditions, with different rates of nitrogen fertilization, during two years, under two levels of management: medium, nonirrigated, and with rates of N between 0 and 150 kg ha⁻¹; and high, irrigated and with rates of N between 0 and 300 or between 0 and 240 kg ha⁻¹. The relationship between mineral N content and total leaf N content was assessed in greenhouse. Nutrition indices show variable performance in predicting corn grain yield, and were influenced by the vegetative development stage and by the management levels. The RCC and SI indices were highly associated with grain yield. The performance of the indices is better in high-level crop management.

Index terms: *Zea mays*, chlorophyll meter, N efficiency use, plant indicators, management levels.

Introdução

A recomendação de adubação nitrogenada para o milho melhorou significativamente nos últimos dez anos, na Região Sul do Brasil, quando se passou a considerar dados da cultura anterior e do teor de matéria orgânica do solo, além da expectativa de produtividade de grãos (Amado et al., 2002). A busca de otimização na recomendação é constante e, nesse sentido, há grande potencial de inclusão de características de solo e de planta como indicadores complementares

da disponibilidade de N no solo, principalmente em sistemas com alta produtividade em que se aplicam altas doses de N (Ma et al., 2007; Scharf & Lory, 2009; Rambo et al., 2010). Um indicador ideal, além de detectar ou predizer as deficiências e excessos de N no sistema solo-planta (Schröder et al., 2000), deve apresentar alta repetibilidade, facilidade de manuseio e rapidez de análise (Rambo et al., 2010).

Entre as características estudadas para indicar a concentração de N na planta, destacam-se os teores e acúmulos de N na folha e na planta e o teor relativo de

clorofila (TRC) na folha (Argenta et al., 2002; Rambo et al., 2008; Hurtado et al., 2009). O TRC tem sido mais estudado nos últimos anos e fundamenta-se na correlação positiva existente entre teor de N na planta e teor de clorofila na folha (Waskom et al., 1996; Argenta et al., 2001), que está associado à atividade fotossintética (Sinclair & Horie, 1989). Nesse contexto, o desenvolvimento do clorofilômetro tem permitido a obtenção de valores indiretos do teor de clorofila na folha de modo não destrutivo, rápido e simples (Varvel et al., 1997; Balasubramanian et al., 2000).

Os estudos prévios que avaliaram índices nutricionais, como o TRC e os teores foliares de N, para predição da adubação nitrogenada em cobertura, em milho, não elucidaram qual o efeito do nível de manejo da cultura sobre os índices. Entretanto, estudos conduzidos por Argenta et al. (2002), em Eldorado do Sul, RS, e por Sangoi et al. (2003), em Lages, SC, mostraram que os teores de N na planta, o TRC e a produtividade de grãos são afetados pelo nível de manejo, o que justifica a realização de estudos em que essa informação seja considerada como possível indicadora da concentração de N na planta. O uso de níveis de manejo, no presente trabalho, pelas variações nas doses de N e na densidade de plantas, buscou simular condições de desenvolvimento da planta e de produtividade de grãos similares às obtidas em boa parte das lavouras comerciais.

O objetivo deste trabalho foi avaliar a relação entre o teor relativo de clorofila (TRC) e os teores de nitrato e de N, na folha, com a produtividade de grãos, bem como determinar a capacidade desses índices em descrever o estado nutricional do milho em diferentes estádios de desenvolvimento, sob dois níveis de manejo.

Material e Métodos

Foram conduzidos três experimentos em campo e um em casa de vegetação. Os experimentos em campo, com variações das doses de N e nível de manejo,

foram realizados em Eldorado do Sul, na região ecoclimática da Depressão Central do Rio Grande do Sul, nos anos agrícolas 2002/2003 e 2003/2004. O solo da área experimental é classificado como Argissolo Vermelho distrófico típico (Streck et al., 2008). Os resultados da análise de solo no ano 2002/2003 foram: argila, 290 g kg⁻¹; pH (água), 5,4; índice SMP, 5,9; P, 9,4 mg dm⁻³ (Mehlich 1); K, 105 mg dm⁻³; MO, 25 g kg⁻¹; e CTC, 7,6 cmol_c dm⁻³. No ano de 2003/2004, os resultados foram: argila, 380 g kg⁻¹; pH (água), 5,3; índice SMP, 6,2; P, 5,6 mg dm⁻³ (Mehlich 1); K, 161 mg dm⁻³; MO, 25 g kg⁻¹; e CTC, 8,1 cmol_c dm⁻³, conforme Tedesco et al. (1995). Pequenas alterações nos resultados da análise de solo, entre os anos, são resultantes do sistema de rotação e sucessão de culturas da área experimental, sob sistema de semeadura direta há 14 anos, onde se evita, em anos sucessivos, a mesma cultura na área.

Utilizou-se, nos três experimentos em campo, o delineamento experimental de blocos ao acaso, com quatro repetições. No primeiro ano (2002/2003), adotou-se nível alto de manejo, e os tratamentos consistiram de cinco doses de N (0, 50, 100, 200 e 300 kg ha⁻¹) (Tabela 1), das quais 20% foram aplicados à semeadura e o restante ao estádio V3, segundo escala de Ritchie & Hanway (1993). A semeadura do híbrido simples de milho superprecoce Pioneer 32R21 foi realizada em 15/10/2002, em sistema de semeadura direta, em sucessão à aveia-preta (3,4 Mg ha⁻¹ de massa de matéria seca), no espaçamento de 0,7 m entre linhas. O experimento recebeu suplementação hídrica via irrigação por aspersão, sempre que o potencial de água no solo era inferior a -0,04 Mpa.

No segundo ano (2003/2004), foram realizados dois experimentos, um com nível de manejo médio e outro com nível alto (Tabela 1). Em ambos os níveis de manejo, adotaram-se seis doses de N, que variaram de 0 a 150 kg ha⁻¹, no nível médio, e de 0 a 240 kg ha⁻¹ no nível alto (Tabela 1). No nível médio de manejo, 20% do N foi aplicado à semeadura e o restante em V4,

Tabela 1. Doses de nutrientes, densidade de plantas e condição hídrica, nos três experimentos realizados em campo com a cultura do milho.

Safrá agrícola	Nível de manejo	Doses de nutrientes (kg ha ⁻¹)			Densidade (plantas m ⁻²)	Suplementação hídrica
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O		
2002/2003	Alto	0, 50, 100, 200 e 300	80	60	6,5	Sim
2003/2004	Alto	0, 40, 80, 120, 160 e 240	70	100	6,5	Sim
2003/2004	Médio	0, 25, 50, 75, 100 e 150	40	60	5,0	Não

enquanto no nível alto, cada dose de N foi parcelada em três vezes: 37,5%, à semeadura; 37,5%, em V4; e 25%, em V8. O híbrido Pioneer 32R21 foi semeado em 27/10/2003, em sistema de semeadura direta, em sucessão à aveia-preta (5,2 Mg ha⁻¹ de massa de matéria seca), no espaçamento de 0,7 m entre linhas.

Nos três experimentos em campo, a fonte de N foi ureia, contendo 46% de N. A adubação com fósforo e potássio, na forma de superfosfato triplo e cloreto de potássio, misturados manualmente, foi realizada na linha, por ocasião da semeadura. Plantas daninhas e pragas foram controladas conforme indicações técnicas para a cultura do milho no Rio Grande do Sul, de forma a não interferirem no desenvolvimento da planta e na expressão do efeito de doses de N aplicadas na produtividade.

Nos três experimentos, foram feitas as seguintes avaliações nos estádios V3, V6, V10 e de espigamento: teor relativo de clorofila (TRC) na folha; índice de suficiência (IS); massa de matéria seca da última folha expandida e da parte aérea da planta; teor e acúmulo de N, na última folha expandida e na planta; teores de nitrato, amônio e de N mineral (nitrato + amônio), na última folha expandida; e produtividade de grãos. Para avaliação no período do espigamento, utilizou-se a folha da espiga.

O TRC na folha foi avaliado com o clorofilômetro modelo Minolta SPAD-502 (Konica Minolta Sensing Americas Inc., Ramsey, MI, EUA) em cinco plantas por parcela. As leituras – duas por folha – foram feitas a dois centímetros da margem da folha e, a partir da base, entre a metade e dois terços do comprimento da folha (Argenta et al., 2001). O IS foi obtido a partir do quociente entre os valores de TRC na folha, em cada tratamento, e o valor do TRC na folha obtido na parcela com dose mais alta de N (parcela de referência).

A massa de matéria seca da última folha expandida, nos três primeiros estádios, da folha da espiga no espigamento foi determinada a partir de amostras com cinco folhas. Para determinação da massa de matéria seca da parte aérea, foram utilizadas cinco plantas. As folhas foram secadas em estufa a 60°C, até atingirem peso constante e, em seguida, pesadas. As plantas e folhas foram moídas em moinho tipo Wiley, e homogeneizadas, separadamente, para determinação do teor de N total no tecido, pelo método de Kjeldahl, conforme Tedesco et al. (1995). As quantidades de N acumuladas na folha e na planta foram obtidas pela

multiplicação do teor de N pela massa de matéria seca. Os teores de nitrato e de amônio na folha foram determinados conforme Tedesco et al. (1995). O teor de N mineral foi obtido pela soma dos teores de nitrato e amônio na folha. A produtividade de grãos foi obtida pela extrapolação da produção da área útil da parcela (8,4 m²) para um hectare, tendo-se corrigido a umidade para 13%.

O experimento em casa de vegetação foi conduzido em Porto Alegre, RS, em 2002 e 2003. Adotaram-se vasos de oito litros com 7,0 kg de solo classificado como Argissolo Vermelho distrófico típico. Utilizou-se, nos dois anos, o delineamento experimental inteiramente casualizado, com três repetições. Os tratamentos consistiram da aplicação de seis doses de N, na forma de nitrato de amônio (32% de N). As doses de N foram: 0, 16, 32, 64, 128 e 256 mg L⁻¹, em 2002; e 0, 50, 100, 150, 300 e 450 mg L⁻¹, em 2003. O híbrido Pioneer 32R21 foi semeado em 03/10/2002 e 09/09/2003. Em cada vaso, foram cultivadas seis plantas. As doses de N foram aplicadas na emergência, com nitrato de amônio diluído em água. No início do experimento, nos dois anos, os vasos foram irrigados até atingirem a umidade do solo à capacidade de campo, a qual foi mantida durante todo o período, por meio de pesagens semanais e sucessivas dos vasos.

Nos estádios V3 e V6, foram realizadas as seguintes determinações: TRC na folha; TRC corrigido pelo peso específico da folha; teor de N total e de N mineral (nitrato e amônio); massa de matéria seca e área foliar da terceira folha expandida. A área foliar foi medida com o integrador de área foliar LI-3100 (LI-COR Biosciences, Lincoln, NE, EUA). O TRC corrigido foi determinado pelo quociente do TRC pelo peso específico da folha [massa de matéria seca de folha (g)/área de folha (m²) = g m⁻² de folha], conforme Chapman & Barreto (1997).

Os dados dos experimentos de campo e de casa de vegetação foram submetidos à análise de variância pelo teste F, a 5% de probabilidade e, posteriormente, à análise de correlação de Pearson (r). Em cada experimento em campo, estimou-se a correlação simples de Person (r) entre a produtividade de grãos e os índices nutricionais: TRC, IS, teor de N na última folha expandida (V3, V4 e V6) e na folha da espiga (espigamento). No experimento de casa de vegetação, a correlação (r) foi estimada entre teor de N na última folha expandida e os índices nutricionais TRC, TRC

corrigido, teores de nitrato, amônio e N mineral na folha. As análises estatísticas foram realizadas pelo SAS (SAS Institute, 1996).

Resultados e Discussão

A produtividade de grãos de milho variou em consequência das doses de N aplicadas, nos três experimentos de campo, tendo-se obtido 6,9 Mg ha⁻¹ no nível médio de manejo (2003/2004); e 8,1 e 9,6 Mg ha⁻¹ no nível alto, no primeiro (2002/2003) e no segundo ano (2003/2004), respectivamente (Rambo et al., 2007b; 2008). O incremento de 2,7 Mg ha⁻¹ na produtividade do nível de manejo médio (2002/2003) para o nível alto (2003/2004) mostra a alta capacidade de resposta do milho à melhoria das condições de manejo, sobretudo pelo aumento na dose de N, o que está de acordo com o verificado por outros autores (Sangoi et al., 2003; Ma et al., 2005; Zhang et al., 2008).

Em razão da alta resposta na produtividade de grãos nos experimentos de campo, buscou-se identificar, entre as diferentes características de planta avaliadas,

quais estiveram mais associadas ao desempenho agrônomo do milho. Como esperado, a correlação entre os índices nutricionais e a produtividade de grãos variou entre experimentos, níveis de manejo e estádios de desenvolvimento (Tabela 2).

Entre os índices nutricionais avaliados, destacaram-se o TRC e o IS, que tiveram correlação significativa e positiva com a produtividade de grãos em todos os experimentos e estádios de desenvolvimento (Tabela 2). Este resultado corrobora os de Hurtado et al. (2009) e Rambo et al. (2010), que verificaram forte relação do TRC com as doses de N aplicadas e com a produtividade de grãos, e sugeriram ser possível estimar a necessidade de adubação nitrogenada em cobertura, a partir da determinação do TRC da folha.

Na safra 2002/2003 (alto manejo), todos índices nutricionais avaliados no estágio V3 apresentaram correlações positivas e significativas com a produtividade de grãos (Tabela 2). No estágio V6, TRC, IS e N acumulado na folha e na planta também apresentaram correlação positiva e significativa; no entanto o N acumulado, na folha e na planta, não apresentaram correlação significativa com

Tabela 2. Coeficientes de correlação linear simples de Pearson (r) entre produtividade de grãos de milho e os índices nutricionais de N avaliados em diferentes estádios de desenvolvimento e em dois níveis de manejo, nos experimentos de campo com doses crescentes de nitrogênio.

Características de planta	Estádios de desenvolvimento ⁽¹⁾					
	V3	V6	V10	Espigamento	R2	R4
Safra agrícola 2002/2003 – nível de manejo alto						
Teor relativo de clorofila na folha	0,83**	0,76**	0,62**	0,91**	-	-
Índice de suficiência	0,81**	0,75**	0,61**	0,91**	-	-
N na folha ⁽²⁾ (%)	0,65**	0,20 ^{ns}	0,32 ^{ns}	0,71**	-	-
N na planta (%)	0,76**	0,42 ^{ns}	0,54**	0,37 ^{ns}	-	-
N acumulado na folha (mg)	0,55**	0,62**	0,47*	0,80**	-	-
N acumulado na planta (mg)	0,83**	0,73**	0,79**	0,68**	-	-
Safra agrícola 2003/2004 – nível de manejo médio						
Teor relativo de clorofila na folha	0,50**	0,63**	0,78**	0,83**	0,93**	0,93**
Índice de suficiência	0,50**	0,63**	0,78**	0,82**	0,93**	0,93**
N na folha ⁽²⁾ (%)	0,46*	0,06 ^{ns}	0,66**	-	-	-
N na planta (%)	0,39 ^{ns}	0,56**	0,72**	0,59**	-	-
N acumulado na folha (mg)	0,46*	0,06 ^{ns}	0,73**	0,86**	-	-
N acumulado na planta (mg)	0,30 ^{ns}	0,21 ^{ns}	0,73**	0,84**	-	-
Safra agrícola 2003/2004 – nível de manejo alto						
Teor relativo de clorofila na folha	0,67**	0,77**	0,92**	0,97**	0,98**	0,96**
Índice de suficiência	0,67**	0,77**	0,92**	0,97**	0,98**	0,96**
N na folha ⁽²⁾ (%)	0,58**	0,28 ^{ns}	0,82**	0,92**	-	-
N na planta (%)	0,13 ^{ns}	0,59**	0,89**	0,75**	-	-
N acumulado na folha (mg)	0,57**	0,40*	0,85**	0,92**	-	-
N acumulado na planta (mg)	0,57**	0,42*	0,83**	0,87**	-	-

⁽¹⁾Segundo escala proposta por Ritchie et al. (1993). ⁽²⁾Na última folha expandida em V3, V6 e V10 e na folha da espiga, no espigamento. ^{ns}Não significativo.

* e **Significativo a 5 e 1% de probabilidade, respectivamente.

a produtividade de grãos. No estágio V10, todos os coeficientes de correlação entre os índices nutricionais e a produtividade de grãos foram positivos e significativos, exceto o teor de N na folha. No espigamento, os coeficientes de correlação entre os índices e a produtividade foram positivos e significativos, exceto o teor de N na planta.

Na safra 2003/2004, independentemente do nível de manejo, os coeficientes de correlação de TRC e IS com a produtividade de grãos aumentaram com a evolução do ciclo e a ocorrência dos estádios de desenvolvimento do milho (Tabela 2). Estes índices nutricionais apresentaram as maiores correlações com a produtividade a partir de V10 ($r \geq 0,78$), o que corrobora os dados de Argenta et al. (2001) quanto à TRC, em experimento realizado no mesmo local, sob alto nível de manejo. Contudo, diferentemente do verificado por esses autores, as correlações entre TRC e produtividade de grãos nos estádios iniciais (V3 e V6), neste trabalho, foram iguais ou superiores à 0,50. Assim, TRC e IS apresentam potencial de uso para a predição do estado nutricional da lavoura quanto a N e estimação da necessidade de adubação nitrogenada em milho. Contudo, apesar do bom desempenho de TRC e IS, os demais índices nutricionais apresentaram comportamento variável ao longo do ciclo da planta (Tabela 2). Segundo Rambo et al. (2007a), as eficiências técnica, econômica e de uso do N são maiores em sistemas monitorados por meio do TRC.

As maiores correlações foram obtidas no nível de manejo alto, em comparação ao nível médio, o que comprova a hipótese de que o nível de manejo modifica a capacidade dos índices nutricionais em retratar o estado nutricional das plantas quanto ao N. Isso ocorre porque sob nível alto de manejo há melhor controle sobre estresses bióticos e abióticos, que podem limitar o desempenho agrônomo do milho mesmo quando o estado nutricional das plantas encontra-se adequado.

Os dados indicam que, de modo geral, os teores de N na folha e na planta são as características menos associadas à produtividade de grãos e, portanto, possuem potencial reduzido como indicadores do estado nutricional das plantas e, conseqüentemente, para definição da dose de N em milho. Estes resultados corroboram os de Cerrato & Blackmer (1991), que observaram que o teor de N na folha não é indicador sensível do estado nutricional da planta de milho, e contradizem os de Hurtado et al. (2009), que relataram

alta correlação desta variável com a produtividade de grãos, TRC e teor e acúmulo de N nos grãos. O teor de N na folha é característica eficiente para detectar deficiências, mas sua correlação com a produtividade das culturas é prejudicada pelo fenômeno do consumo de luxo, especialmente sob doses altas de N, em que os incrementos nos teores de N na folha não são acompanhados por incrementos na produtividade (Rambo et al., 2008, 2010). Assim, o consumo de luxo diminui a sensibilidade deste índice e dificulta o estabelecimento de níveis limitantes de N na folha (Blackmer & Schepers, 1994), os quais têm variado bastante entre os estudos (Cerrato & Blackmer, 1991; Amado & Mielniczuk, 2000).

As quantidades de N acumuladas na folha e na planta tiveram bom desempenho como índices nutricionais, em V10 (Tabela 2). Estes dados corroboram os de Rambo et al. (2008), que verificaram maior eficiência desses índices na predição do estado nutricional de N em milho. O bom desempenho desses índices deve, possivelmente, estar relacionado à integração que eles fazem de duas variáveis – teor de N e quantidade de matéria seca produzida – em uma única (Bredemeier & Mundstock, 2000). Contudo, sua determinação envolve análise laboratorial e não permite a correção da deficiência de N no mesmo ano agrícola, em razão do tempo dispendido entre coleta e resultado da análise, portanto, servindo apenas como indicativos de suplementação nos cultivos sequenciais (Argenta et al., 2002).

Pelos resultados obtidos nos experimentos de campo, verificou-se que as características TRC e IS foram as mais fortemente associadas à produtividade de grãos, independentemente do estágio de desenvolvimento e do nível de manejo adotado. Por possuir baixa sensibilidade ao consumo de luxo de N, o TRC é considerado melhor indicador do estado nutricional de N do que o teor do elemento na folha (Blackmer & Schepers, 1995). Além disso, o uso do TRC tem outras vantagens, como: leituras instantâneas e não destrutivas; não envolve procedimentos laboratoriais e reagentes químicos; avaliação rápida e de fácil interpretação (Blackmer & Schepers, 1994); baixo custo de manutenção; permite amostras sucessivas, sem custos adicionais (Malavolta, 1997). Com estas vantagens e por possuir boa correlação com a produtividade, o TRC tem sido usado para estimar a necessidade de N em cobertura, em várias culturas, sobretudo trigo (Bredemeier & Mundstock,

2000; Singh et al., 2002), arroz (Peng et al., 1993; Balasubramanian et al., 2000) e milho (Argenta et al., 2002; Hurtado et al., 2009).

O uso do TRC na folha, no manejo da adubação nitrogenada em milho, vem sendo estudado sob duas abordagens: valores críticos do TRC e IS. A utilização de valores críticos pressupõe que, em cada estágio, a planta deve ter TRC mínimo (nível crítico), que corresponda ao valor mínimo na leitura de clorofila naquela fase da ontogenia, para maximizar a produtividade de grãos. Leituras abaixo desse nível indicam necessidade de aporte de N via adubação, enquanto leituras acima deste valor crítico indicam que não há necessidade de se realizar a adubação nitrogenada. Alguns estudos têm determinado valores críticos de TRC na ontogenia de milho (Argenta et al., 2001). Todavia, o uso desta metodologia pode ter alguns problemas, pois além da disponibilidade de N no solo, outros fatores podem afetar a intensidade da coloração verde da folha e a respectiva leitura pelo clorofilômetro (Varvel et al., 1997).

Para minimizar esses fatores, tem sido indicado o método de calibração de leituras do clorofilômetro para cada área de cultivo e cada híbrido, estágio de desenvolvimento, condição edafoclimática e prática de manejo (Hussain et al., 2000). Uma forma de calibrar as leituras é a determinação do IS, obtido pela média das leituras do TRC nas folhas de plantas da amostra, dividida pela média de leituras em plantas na área de referência. Esta área de referência é uma faixa da lavoura, com a mesma cultivar, adubada com dose de N muito superior à do restante da lavoura para que, teoricamente, não haja deficiência de N. O uso do IS, no manejo da adubação nitrogenada, tem sido associado ao monitoramento do nível de N na planta, na estratégia denominada "adubação quando necessária", segundo

a qual Blackmer & Schepers (1994) e Varvel et al. (1997) indicam suplementação de N quando o IS for menor ou igual a 0,95, especialmente sob condições de fertirrigação.

Os resultados obtidos no presente trabalho demonstram que o TRC e o IS foram os índices mais fortemente associados à produtividade de grãos e, portanto, apresentam boa capacidade de descrever o estado nutricional do milho e grande potencial de uso na tomada de decisão quanto à necessidade de suplementação de N via adubação nitrogenada. Entretanto, deve-se considerar que estes índices apresentam correlações baixas ou não significativas com a produtividade de grãos, quando determinadas nos estádios iniciais de desenvolvimento. Estudos anteriores também verificaram menor associação do TRC com a produtividade de milho nos estádios iniciais de desenvolvimento (Waskom et al., 1996; Argenta et al., 2001). O monitoramento precoce do nível de N na ontogenia do milho é importante, pois a partir do estágio V6 aumenta absorção de N (Blackmer & Schepers, 1994), ocorre a diferenciação do pendão e, ainda, há definição da produção potencial (Sangoi et al., 2010). Portanto, o monitoramento do estado nutricional de N, nos estádios iniciais, contribui para identificar e corrigir eventuais deficiências de N em tempo hábil, para não reduzir a produtividade da cultura (Varvel et al., 1997; Binder et al., 2000).

Entre as possíveis razões dessa baixa correlação está o fato de boa parte do N na planta estar associada ao nitrato e não à molécula de clorofila (Dwyer et al., 1995). No estudo em casa de vegetação, o TRC na folha apresentou alta correlação com o teor de N na folha, nos estádios V3 e V6 (Tabela 3). No estágio V6, o teor de N mineral total e o de nitrato na folha também tiveram correlações significativas com teor de N na

Tabela 3. Coeficientes de correlação linear simples de Pearson (r), entre o teor de N na última folha expandida e os índices nutricionais de N em dois estádios de desenvolvimento⁽¹⁾, em experimento de casa de vegetação com doses crescentes de nitrogênio, em dois anos.

Teor e índices	2002		2003	
	V3	V6	V3	V6
Teor relativo de clorofila na folha	0,68**	0,60**	0,33 ^{ns}	0,86**
Teor relativo de clorofila na folha corrigido ⁽²⁾	0,60**	-0,02 ^{ns}	0,07 ^{ns}	0,85**
NO ₃ ⁻ na folha (mg kg ⁻¹)	0,67**	0,74**	0,05 ^{ns}	0,75**
NH ₄ ⁺ na folha (mg kg ⁻¹)	0,16 ^{ns}	0,83**	0,04 ^{ns}	0,49**
N mineral na folha (mg kg ⁻¹)	0,66**	0,83**	0,05 ^{ns}	0,74**

⁽¹⁾Segundo escala proposta por Ritchie et al. (1993). ⁽²⁾Teor relativo de clorofila na folha, corrigido pelo peso específico da folha. ^{ns}Não significativo.

* e **Significativo a 5 e 1% de probabilidade, respectivamente.

folha. No segundo ano, no entanto, aqueles teores não apresentaram correlação significativa com teor de N na folha, quando avaliados no estágio V3. Porém, no estágio V6, eles tiveram correlação altamente significativa.

Diferentemente do reportado em outros estudos, nos dois anos, a correção do TRC pelo peso específico da folha não melhorou a correlação entre TRC e teor de N na folha, em comparação ao TRC sem correção (Tabela 3). Isso evidencia que outros fatores distintos da deficiência de N, como a espessura de folha, não afetaram as leituras do clorofilômetro no presente trabalho. O controle interno do clorofilômetro, equipamento usado para determinar o TRC, é obtido pela presença de diodos que emitem luz a 650 nm (vermelho), associada à atividade da clorofila, e a 940 nm (infravermelho), referência interna para compensar diferenças na espessura ou no teor de água da folha (Waskom et al., 1996).

Os resultados obtidos em casa de vegetação mostram que, em geral, o teor de N mineral na folha, especialmente o de nitrato, não melhora a correlação com o teor de N na folha em relação ao TRC nos estádios iniciais da ontogenia do milho. Contudo, tanto em V3 como em V6 verificaram-se grandes proporções de N mineral na planta, sobretudo nitrato, sugerindo ser esta a principal forma de presença do N na planta nesses estádios. Esses resultados confirmam a hipótese de Dwyer et al. (1995), de que a baixa associação entre TRC e teor de N na folha, nos estádios iniciais do milho, ocorre porque boa parte do N está associada ao nitrato e não à molécula de clorofila.

O nitrogênio é absorvido sob forma de nitrato ou amônio, e é incorporado a aminoácidos na própria raiz ou na parte aérea da planta (Bredemeier & Mundstock, 2000). O nitrato é a forma mais disponível nos solos agrícolas sem inibição da nitrificação (Von Wirén et al, 1997), processo comum de solos bem aerados, condição predominante na maioria das lavouras de milho do Brasil. Após absorvido, o nitrato é reduzido à amônio e incorporado a aminoácidos ou transportado aos vacúolos, sobretudo nas folhas (Buchanan et al., 2000).

Conclusões

1. A correlação entre os índices nutricionais de N na planta de milho e a produtividade de grãos é maior sob alto nível de manejo da cultura.

2. Entre os índices avaliados, o teor relativo de clorofila (TRC) e o índice de suficiência são os mais

fortemente associados à produtividade de grãos e os indicadores mais precisos para se estimar a necessidade de adubação nitrogenada na cultura do milho.

3. A correção do TRC na folha, pelo peso específico da folha, não melhora a correlação entre TRC e o teor de N na folha, nos estádios iniciais (V3 e V6) da ontogenia do milho.

4. A alta quantidade de nitrato presente na folha, nos estádios iniciais de desenvolvimento do milho, possivelmente é a razão da baixa correlação de TRC e teor de N na folha com a produtividade de grãos nesses estádios.

Referências

- AMADO, T.J.C.; MIELNICZUK, J. Estimativa da adubação nitrogenada para o milho em sistemas de manejo e culturas de cobertura do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.24, p.553-560, 2000.
- AMADO, T.J.C.; MIELNICZUK, J.; AITA, C. Recomendação de adubação nitrogenada para o milho no RS e SC, adaptada ao uso de culturas de cobertura do solo, sob sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.26, p.241-248, 2002.
- ARGENTA, G.; SILVA, P.R.F. da; BORTOLINI, C.G. Clorofila na folha como indicador do nível de nitrogênio em cereais. **Ciência Rural**, v.31, p.715-722, 2001.
- ARGENTA, G.; SILVA, P.R.F. da; MIELNICZUK, J.; BORTOLINI, C.G. Parâmetros de planta como indicadores do nível de nitrogênio na cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.37, p.519-527, 2002.
- BALASUBRAMANIAN, V.; MORALES, A.C.; CRUZ, R.T.; THIYAGARAJAN, T.M.; NAGARAJAN, R.; BABU, M.; ABDULRACHMAN, S.; HAI, L.H. Adaptation of the chlorophyll meter (SPAD) technology for real-time N management in rice: a review. **International Rice Research Institute**, v.25, p.4-8, 2000.
- BINDER, D.L.; SANDER, D.H.; WALTERS, D.T. Maize response to time of nitrogen application as affected by level of nitrogen deficiency. **Agronomy Journal**, v.92, p.1228-1236, 2000.
- BLACKMER, T.M.; SCHEPERS, J.S. Techniques for monitoring crop nitrogen status in corn. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.25, p.1791-1800, 1994.
- BLACKMER, T.M.; SCHEPERS, J.S. Use of chlorophyll meter to monitor nitrogen status and schedule fertirrigation for corn. **Journal of Production Agriculture**, v.8, p.56-60, 1995.
- BREDEMEIER, C.; MUNDSTOCK, C.M. Regulação da absorção e assimilação do nitrogênio nas plantas. **Ciência Rural**, v.30, p.365-372, 2000.
- BUCHANAN, B.B.; GRUISSEM, W.; JONES, R.L. **Biochemistry and molecular biology of plants**. Rockville: American Society of Plant Physiologists, 2000. 1367p.

- CERRATO, M.E.; BLACKMER, A.M. Relationships between leaf nitrogen concentrations and the nitrogen status of corn. **Journal of Production Agriculture**, v.4, p.525-531, 1991.
- CHAPMAN, S.C.; BARRETO, H.J. Using a chlorophyll meter to estimate specific leaf nitrogen of tropical maize during vegetative growth. **Agronomy Journal**, v.89, p.557-562, 1997.
- DWYER, L.M.; ANDERSON, A.M.; MA, B.L.; STEWART, D.W.; TOLLENAAR, M.; GREGORICH, E. Quantifying the nonlinearity in chlorophyll meter response to corn leaf nitrogen concentration. **Canadian Journal of Plant Science**, v.75, p.179-182, 1995.
- HURTADO, S.M.C.; RESENDE, A.V. de; SILVA, C.A.; CORAZZA, E.J.; SHIRATSUCHI, L.S. Variação espacial da resposta do milho à adubação nitrogenada de cobertura em lavoura no Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.44, p.300-309, 2009.
- HUSSAIN, F.; BRONSON, K.F.; YADVINDER-SINGH; BIJAY-SINGH; PENG, S. Use of chlorophyll meter sufficiency indices for nitrogen management of irrigated rice in Asia. **Agronomy Journal**, v.92, p.875-879, 2000.
- MA, B.-L.; SUBEDI, K.D.; COSTA, C. Comparison of crop-based indicators with soil nitrate test for corn nitrogen management. **Agronomy Journal**, v.97, p.462-471, 2005.
- MA, B.-L.; SUBEDI, K.D.; ZHANG, T.Q. Pre-sidedress nitrate test and other crop-based indicators for fresh market and processing sweet corn. **Agronomy Journal**, v.99, p.174-183, 2007.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. de. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1997. 319p.
- PENG, S.; GARCIA, F.V.; LAZA, R.C.; CASSMAN, K.C. Adjustment for specific leaf weight improves chlorophyll meter's estimate of rice leaf nitrogen concentration. **Agronomy Journal**, v.85, p.987-990, 1993.
- RAMBO, L.; MA, B.-L.; XIONG, Y.; SILVA, P.R.F. da. Leaf and canopy optical characteristics as crop-N-status indicators for field nitrogen management in corn. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v.173, p.434-443, 2010.
- RAMBO, L.; SILVA, P.R.F. da; BAYER, C.; ARGENTA, G.; STRIEDER, M.L.; SILVA, A.A. da. Teor de nitrato como indicador complementar da disponibilidade de nitrogênio no solo para o milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.731-738, 2007b.
- RAMBO, L.; SILVA, P.R.F. da; STRIEDER, M.L.; DELATORRE, A.; BAYER, C.; ARGENTA, G. Adequação de doses de nitrogênio em milho com base em indicadores de solo e de planta. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.43, p.401-409, 2008.
- RAMBO, L.; SILVA, P.R.F. da; STRIEDER, M.L.; SANGOI, L.; BAYER, C.; ARGENTA, G. Monitoramento do nitrogênio na planta e no solo para predição da adubação nitrogenada em milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.42, p.407-417, 2007a.
- RITCHIE, S.W.; HANWAY, J.J. **How a corn plant develops?** Ames: Iowa State University of Science and Technology, 1993. 26p. (Special report, 48).
- SANGOI, L.; ARGENTA, G.; SILVA, P.R.F. de; MINETTO, T.J.; BISOTTO, V. Níveis de manejo na cultura do milho em dois ambientes contrastantes: análise técnico-econômica. **Ciência Rural**, v.33, p.1021-1029, 2003.
- SANGOI, L.; SILVA, P.R.F.; ARGENTA, G.; RAMBO, L. **Ecofisiologia da cultura do milho para altos rendimentos**. Lages: Graphel, 2010. 87p.
- SAS INSTITUTE. **SAS/STAT user's guide**. Version 6.4. Cary: SAS Institute, 1996.
- SCHARF, P.C.; LORY, J.A. Calibrating reflectance measurements to predict optimal sidedress nitrogen rate for corn. **Agronomy Journal**, v.101, p.615-625, 2009.
- SCHRÖDER, J.J.; NEETESON, J.J.; OENEMA, O.; STRUIK, P.C. Does the crop or the soil indicate how to save nitrogen in maize production? Reviewing the state of art. **Field Crops Research**, v.66, p.151-164, 2000.
- SINCLAIR, T.R.; HORIE, T. Leaf nitrogen, photosynthesis, and crop radiation use efficiency: a review. **Crop Science**, v.29, p.90-98, 1989.
- SINGH, B.; SINGH, Y.; LADHA, J.K.; BRONSON, K.F.; BALASUBRAMANIAN, V.; SINGH, J.; KHIND, C.S. Chlorophyll meter and leaf color chart based nitrogen management for rice and wheat in Northwestern India. **Agronomy Journal**, v.94, p.821-829, 2002.
- STRECK, E.V.; KÄMPF, N.; DALMOLIN, R.C.D.; KLAMT, E.; NASCIMENTO, P.C. do; SCHNEIDER, P.; GIASSON, E.; PINTO, L.F.S. **Solos do Rio Grande do Sul**. 2.ed. Porto Alegre: Emater/RS; ASCAR, 2008. 222p.
- TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S.J. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2.ed. Porto Alegre: UFRGS, 1995. 174p. (UFRGS. Boletim técnico, 5).
- VARVEL, G.E.; SCHEPERS, J.S.; FRANCIS, D.D. Ability for in-season correction of nitrogen deficiency in corn using chlorophyll meter. **Soil Science Society of America Journal**, v.61, p.1233-1239, 1997.
- VON WIRÉN, N.; GAZZARRINI, S.; FROMMER, W.B. Regulation of mineral nitrogen uptake in plants. **Plant and Soil**, v.196, p.191-199, 1997.
- WASKOM, R.M.; WESTFALL, D.G.; SPELLMAN, D.E.; SOLTANPOUR, P.N. Monitoring nitrogen status of corn with a portable chlorophyll meter. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.27, p.545-560, 1996.
- ZHANG, J.; BLACKMER, A.M.; ELLSWORTH, J.W.; KOEHLER, K.J. Sensitivity of chlorophyll meters for diagnosing nitrogen deficiencies of corn in production agriculture. **Agronomy Journal**, v.100, p.543-550, 2008.

Recebido em 29 de outubro de 2010 e aprovado em 2 de março de 2011